



UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA em
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2019/2020 – 4º ANO

Tema: Sistema Automatizado para Controlo de Estufas, Recorrendo a
Energia Fotovoltaica

Autor: Kathlene Raquel Silva Flor N.º 3916

Orientador: Eng.º Hernâny Medina do Rosário Monteiro

Mindelo, 2019

CURSO DE LICENCIATURA EM
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ano Letivo 2019/2020

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLO DE ESTUFAS
RECORRENDO A ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Autor: Kathlene Raquel Silva Flor, N.º 3916

Orientador: Eng. Hernány Medina do Rosário Monteiro

Mindelo, 2019

Kathlene Raquel Silva Flor

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLO DE ESTUFAS
RECORRENDO A ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Projeto de trabalho de conclusão do curso, apresentado à Universidade do Mindelo como parte dos requisitos para obtenção do grau de licenciado em Engenharia em Energias Renováveis.

Orientador: Eng.º Hernâny Medina do Rosário Monteiro

Mindelo 2019

RESUMO

Este trabalho consiste no projecto de construção de uma estufa inteligente, ou seja, um sistema automatizado de irrigação para plantas, de baixo custo para garantir a sobrevivência das plantas e o uso eficiente da água.

Este sistema dispensa a vigilância constante e apresenta uma solução automatizada para o controle da temperatura, luminosidade e humidade do solo em estufas, que permite verificar como controle dessas variáveis (temperatura, humidade, luminosidade, água) podem influenciar na produção de alimentos.

A automação da estufa é feita por meio dos sensores, em que o processo de análise é realizado pelo microcontrolador da plataforma Arduino e o controle é realizado através dos atuadores do sistema, que são divididos em processos de iluminação artificial, controle de humidade do solo e da temperatura.

A estufa é controlada via internet através de uma página web, permitindo uma configuração de maneira simples a partir de qualquer dispositivo, em que teve a necessidade de criar um banco de dados, contendo os dados dos sensores e dos usuários.

O fim desse trabalho é apresentar uma garantia de qualidade do produto cultivado, de forma mais simples e eficiente, e com um baixo custo de desenvolvimento.

Palavra-Chave: Irrigação, Estufa Automatizada, Arduino

ABSTRACT

This work consists of a project to build an intelligent greenhouse, that is, an automated plant irrigation system, low cost to ensure the maintenance of plants and the efficient use of water.

This system does not require constant surveillance and features an automated solution for controlling temperature, light and soil moisture in greenhouses, which allows you to check how control of these variables (temperature, humidity, lightness, water) can influence food production.

The automation of the greenhouse is done through sensors, in which the analysis process is performed by the Arduino platform microcontroller and the control is performed through the system actuators, which are divided into artificial lighting, humidity and temperature control processes.

The greenhouse is controlled by the internet through a web page, allowing a simple configuration from any device, where you had to create a database, containing the data from sensors and users.

The aim of this work is to present a quality assurance of the cultivated product, more simply and efficiently, and with a low development cost.

Keyword: Irrigation, Automated Greenhouse, Arduino

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Juventino Delgado Flor e Francisca Antónia Silva, por proporcionar-me a vida, educação e formação básica necessárias para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, pelo amor, incentivo, dedicação e o apoio incondicional.

Agradeço o meu orientador, o Engenheiro Hernâny Medina Do Rosário Monteiro, pela disponibilidade, apoio, dedicação e por ter aceitado o tema mesmo com as dificuldades encontradas.

Aos docentes pela partilha de conhecimento para minha formação pessoal e profissional, porque sem eles não seria possível chegar onde cheguei até os dias de hoje.

E por fim os meus colegas pelo companheirismo desde o início e dos conhecimentos partilhados, especialmente ao meu colega Júlio Medina que não mediu esforços em ajudar-me sempre que fosse necessário.

A todos, muito obrigada!

Índice

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
DEDICATÓRIA	vii
AGRADECIMENTOS	viii
SIGLAS E ABREVIATURAS	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Objetivos da pesquisa	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
1.3 Problemática	18
1.4 Questões ou hipótese de investigação	19
1.4.1 Básicas (Gerais)	19
1.4.2 Secundário (Específicas).....	19
1.5 Metodologia.....	20
CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	21
2.1 Radiação Solar	21
2.1.1 Sol	21
2.1.2 Geometria Solar	22
2.2 Energia Solar Fotovoltaica	23
2.2.1 Célula Solar	24
2.2.1.2 Modelo Matemático de um Célula FV	26
2.2.2 Módulos Fotovoltaicos.....	27
2.2.2.1 Ligados em Série	27
2.2.2.2 Ligados em Paralelo	28
2.2.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	29
2.2.4 Metodologia de Dimensionamento PV	30
2.2.4.1 Etapas do Dimensionamento	31
2.3 Sistemas de Irrigação Convencionais	33
2.4 Sistemas de Irrigação Automatizados.....	34
2.5 Estufas	34
2.6 Microcontroladores.....	34

2.6.1	Arduíno	35
2.6.1.1	Módulos para Arduíno.....	36
2.7	Sensores	38
2.7.1	Sensor de Humidade do Solo FC-28.....	38
2.7.2	Sensor de Luminosidade LDR	38
2.7.3	Sensor Temperatura DHT11	39
2.7.4	Sensor de Temperatura DS18B20.....	40
CAPITULO III: CASO DE ESTUDO		41
3.1	Localização Geográfica do Projeto.....	41
3.2	Descrição do Caso de Estudo	42
3.3	Dimensionamento PV.....	43
3.4	Sistema de Controlo Automatizado.....	47
3.4.1	Sistema físico	48
3.4.1.1	Sensores	48
3.4.1.2	Atuadores do Sistema	53
3.4.2	Processamento.....	54
3.4.3	Página Web ou Interface	55
CAPITULO IV: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS		59
4.1	Teste de Temperatura	59
4.2	Teste de Humidade	59
4.3	Teste de Luminosidade.....	59
4.4	Análise dos resultados	60
CAPITULO V: VIABILIDADE ECONÓMICA		61
5.1	Custo do Sistema Controlo	61
5.2	Custo Total do Sistema.....	62
CAPITULO VI: IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONOMICOS		63
CAPITULO VII: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		66
ANEXOS		69
Anexo 1: Acessórios Diversos Utilizados no Protótipo		69
Anexo 2: Visitas de campo		70
Anexo 3: Relatório de simulação FV no HOMER.....		70
Anexo 3: Código do Sistema		74
Anexo 5: Protótipo		80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes da radiação solar.....	22
Figura 2: Órbita da terra em torno do sol	23
Figura 3: Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica alimentando uma carga Z	26
Figura 4: Módulos Fotovoltaicos ligados em série.....	28
Figura 5: Módulos fotovoltaicos ligados em paralelos.....	28
Figura 6: Fluxograma do sistema fotovoltaico	30
Figura 7: Plataforma Arduíno.....	36
Figura 8: Modulo Ethernet	37
Figura 9: Módulo SIM800L	37
Figura 10: Sensor de humidade do solo FC-28	38
Figura 11: Sensor de luminosidade LDR	39
Figura 12: Sensor Temperatura DHT11	39
Figura 13: Sensor de Temperatura DS18B20.....	40
Figura 14: Estufa agrícola.....	42
Figura 15: Máquina de dessalinização	43
Figura 16: Componentes de simulação no HOMER	44
Figura 17: Inserção das cargas.....	44
Figura 18:Módulo recom black 300w	46
Figura 19: Inversor On-grid 8.2 KW	46
Figura 20: Esquema dos componentes do projecto	47
Figura 21: Circuito de ligação do DS18B20 com o Arduíno	48
Figura 22: Código para leitura do DS18B20 no Arduíno.....	49
Figura 23: Circuito de ligação do FC-28 com o Arduíno.....	50
Figura 24: Código para leitura do FC-28 no Arduíno	51
Figura 25: Circuito de ligação do LDR com o Arduíno	52
Figura 26: Código para leitura do LDR no Arduíno	52
Figura 27: Diagrama de controlo na plataforma Arduíno para acionar as bombas	53
Figura 28: Código para leitura do relé no Arduíno	54

Figura 29: Diagrama esquematizada do processamento.....	55
Figura 30: Inscrição na plataforma Thingspeak	56
Figura 31: Criação do canal no thingspeak	57
Figura 32: Criação do canal projeto estufa.....	57
Figura 33: Chave de Escrita ThingSpeak	58
Figura 34: Dados dos sensores no Thingspeak.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Custo dos componentes adquiridos	61
Tabela 2: Custo total do projecto.....	62

SIGLAS E ABREVIATURAS

A/D- Analógica/Digital

Ah- Ampére hora

CA-Corrente alternada

CC- Corrente continua

CO₂-Dióxido de Carbono

°C-Graus Celsius

CPU-Unidade central de processamento

CVE-Escudos cabo-verdianos

EEPROM-Eletrically-24 Erasable Programable Read-only Memory

FV – Fotovoltaico

GSM- Global System for Mobile Communications

HOMER- Hybrid Optimization Model for Electric Renewable

HTML- Hyper Text Markup Language

I/O-Input/Output

IP-Internet Protocol

K-Conductividade térmica

°K- Graus Kelvin

KWh- Quilowatt-hora

LDR-Light Dependent Resistor

m- Metros

m²- Metros Quadrados

mΩ- Mega ohm

NTC- Negative Temperature Coefficient

p-n- Positivo-negativo

PV- Fotovoltaico

RJ- Registered jack

S.D- Sem data

SD- Secure Digital

SFV-sistema fotovoltaico

SPI- Serial Peripheral Interface

TCP- Transmission Control Protocol

TTL- Time-To-Live

UDP- User Datagram Protocol

USB-Universal Serial Bus

V-Volt

W-watt

Wh-Watt hora

Wp-Watt Pico

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

A técnica de irrigação, utilizada na agricultura, tem como objetivo realizar o fornecimento necessário de água para uma plantação, garantindo desta forma uma boa produtividade. O desenvolvimento desta técnica acompanha o surgimento das antigas civilizações e foi um marco importante na história da humanidade. Muitas das grandes civilizações surgiram em regiões áridas onde a plantação só era possível com o uso da irrigação, de outra forma a produção de alimentos não teria sido possível (Madalosso, 2014).

Em regiões de clima muito seco, não é possível desenvolver certos tipos de produtos, portanto deve-se recorrer à utilização de estufas para que a plantação se desenvolva sem grandes problemas.

Estufas agrícolas são estruturas responsáveis por proteger as plantas contra agentes externos e também são capazes de absorver o calor proveniente do sol, dessa maneira o solo é aquecido e consequentemente é liberada radiação infra vermelha (Guedes e Sousa, 2016).

O propósito da escolha desse tema é que nos últimos anos há um aumento das variações climáticas, isso está afectando diretamente a nossa mãe natureza. Tais variações climáticas, que tem como responsável o homem, devido a utilização excessiva dos combustíveis fósseis que são os causadores dos gases de efeito de estufa.

E em Cabo Verde particularmente, a falta de chuva esta cada vez mais preocupante, a nível de produção de alimentos tanto para o auto consume, como também para fins comerciais.

O clima das ilhas do arquipélago de Cabo Verde sempre impôs muitas restrições ao desenvolvimento da atividade agrícola, devido a um regime pluviométrico com baixos volumes e concentrado numa única estação, chamada estação das águas (Agosto - Outubro) (Neves *et al*, 2015).

1.1 Justificativa

A técnica de irrigação vem desenvolvendo, desde as antigas civilizações até os dias de hoje, com mais aperfeiçoamento. Essa técnica foi criada na antiguidade devido à falta de água em algumas regiões áridas, em que teve a necessidade de implantá-la onde a plantação só era possível com o uso da irrigação. Ela ajudou muito na produção de alimentos, tanto para consumo próprio como para fins comerciais.

A utilização da automação na irrigação é uma forma inteligente, para controlar os fatores climáticos. Com as estufas automatizadas há um grande aumento da produção, independentemente da região implementada, visto que essas estufas controlam a água ideal para as plantas, sem escassez e nem em excesso. Além da irrigação automática, as estufas automatizadas fazem o controle das pragas, luminosidade, humidade, temperatura entre outros.

Mesmo com o processo de modernização da agricultura, com a irrigação automática, muitos agricultores ainda fazem a irrigação de forma manual, principalmente pequenos e médios agricultores.

Em Cabo Verde particularmente, a agricultura é muitas vezes refém da falta de água, se chove as plantações avançam, mas quando há falta de água, os agricultores ficam de mãos atadas sem poder muitas vezes trabalhar. A técnica mais utilizada é a irrigação por gota a gota ou seja com interferência humana.

Por essas razões que entra as estufas inteligentes, em que o agricultor conta com várias estufas, sendo que normalmente cada uma delas possuem um dispositivo próprio para fluxo de água, de maneira autónoma.

Nas estufas, foram desenvolvidos sistemas de informação para automatizar as tarefas, a qual essas informações são enviados através de coleta de dados de sensores e enviadas para a

plataforma Arduino e depois numa página web esse dados podem ser acessadas e monitoradas.

1.2 Objetivos da pesquisa

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de um sistema de automatização para estufas, com o uso de sensores e da plataforma Arduino.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar a literatura;
- Demonstrar a utilização da plataforma Arduino e seus periféricos (sensores) no controle e automação de todo o sistema;
- Criar uma interface para acionar e programar a irrigação, monitorar remotamente humidade relativa do solo, temperatura e luminosidade;
- Dimensionamento do sistema fotovoltaico;
- Analisar os resultados obtidos e interpreta-los;
- Realizar a análise da viabilidade económica do sistema proposto;
- Identificar os impactos ambientais, sociais e económicos para plantação, com o uso de estufas inteligentes.

1.3 Problemática

Para a introdução das estufas inteligentes, segundo agricultores, tem como principal problema o custo de investimento inicial e também o manuseamento do sistema automático.

Com base no projeto, procura-se respostas para as seguintes questões:

- Qual é a melhor forma de ter uma plantação com um crescimento rápida e saudável?
- Como controlar a plantação mesmo não estando presente ou mesmo de forma inteligente?

1.4 Questões ou hipótese de investigação

Com as questões acima referidos, a questão ou hipótese de investigação tem como finalidade tentar responde-las.

1.4.1 Básicas (Gerais)

Cabo verde é um país onde o clima é árido, em que as chuvas estão cada vez mais irregulares, visto que é um aspeto negativo para as actividades agrícolas. E o propósito desse trabalho é a utilização das estufas, que tem como finalidade adequar ao clima propício para o desenvolvimento das culturas, protegendo-as dos agentes meteorológicos (ar, temperatura e humidade) e das variações climáticas, em que muitas regiões acabam afetando o desenvolvimento e até mesmo a perda total da produção.

1.4.2 Secundário (Específicas)

Uma forma prática para a utilização das estufas de forma inteligente é a automatização da mesma. Com a automatização, a interferência humana será mínima, o clima exterior não intervém diretamente com o clima interior, em que será adaptado rigorosamente as condições necessárias do desenvolvimento da plantação. É necessário o controlo humidade, da iluminação e da temperatura, etc., e essas informações são enviadas através da coleta de dados dos sensores de humidade, de iluminação, de temperatura e enviadas para a plataforma Arduino para que possa obter maior produtividade.

O Arduino controla a leitura dos sensores, além de comunicar com o computador via comunicação serial para receber os comandos aos atuadores.

1.5 Metodologia

Para a construção de um sistema de irrigação e controlo de estufas, pode ser utilizado inúmeros sensores e microcontroladores, que coletam dados de temperatura, intensidade de luz e humidade de solo, podendo controlar atuadores para abrir janelas, ativar ventiladores ou até mesmo para colocar uma quantia estimada de água que uma planta possa utilizar durante o dia.

Os métodos que serão utilizados são:

- Realizar o levantamento e análise bibliográfica;
- Realização de teste laboratoriais;
- Desenvolvimento do estudo de caso para a elaboração do protótipo;
- Dimensionamento do sistema no *Homer*;
- Análise da viabilidade económica de todo sistema.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 Radiação Solar

2.1.1 Sol

Duffie e Beckman (2013) afirmam que, o sol é uma esfera de matéria gasosa intensamente quente com um diâmetro de $1,39 \times 10^9$ m e é, em média, $1,5 \times 10^{11}$ m da terra. Como visto da terra, o sol gira sobre seu eixo aproximadamente uma vez a cada 4 semanas. No entanto, ele não gira como um corpo sólido, no equador leva cerca de 27 dias e as regiões polares levam cerca de 30 dias para cada rotação. O sol tem uma temperatura efetiva de um corpo negro de 5777° K. A temperatura nas regiões interiores centrais é estimado em 8×10^6 a 40×10^6 K e a densidade é estimado em cerca de 100 vezes da água. A quantidade de energia irradiada, anualmente pelo sol, sobre a superfície do planeta é cerca de 10 000 vezes superior ao consumo energético de todo o planeta, para o mesmo período.

Apenas uma parte da energia emitida pelo sol atinge definitivamente a superfície do planeta. Esta atenuação está relacionada com a reflexão e a absorção da radiação solar na atmosfera, e nas nuvens e ainda devido à difusão provocada por partículas de pó, vapor de água e gases poluentes que se encontrem presentes no ar.

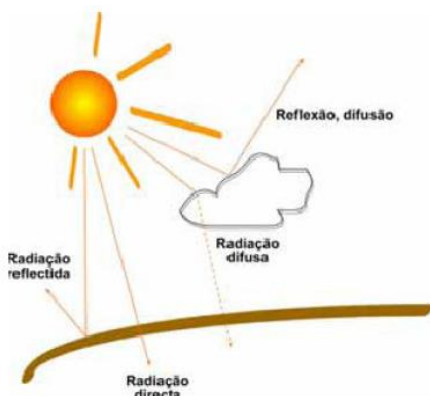
Devido à grande distância existente entre Sol e Terra, apenas uma parte mínima da radiação solar atinge a superfície terrestre, que corresponde a uma quantidade de energia de 1×10^{18} kWh/ano, valor dez mil vezes superior ao consumo mundial de energia (Vaz, 2017).

Segundo (Vaz, 2017), o resultado da decomposição da radiação solar incidente sobre um recetor, pode ser dividido em três componentes, que são:

- Radiação Direta: constituída por todos os raios incidentes que são direcionados para o recetor, em linha reta com o sol;

- Radiação Difusa: porção de luz que é recebida indiretamente, proveniente da ação da difração nas nuvens, nevoeiros, poeiras suspensas e outros obstáculos que podem estar presentes na atmosfera;
- Radiação Albedo: parte da energia recebida é refletida para o espaço. A neve, massas de gelo e nuvens (grandes refletos devido à sua cor branca) assim como a própria superfície terrestre são razoáveis refletos, reenviando cerca de 30% a 40% da radiação recebida. A razão entre radiação refletida e incidente denomina-se de albedo.

Figura 1: Componentes da radiação solar



Fonte: Freitas, 2008

2.1.2 Geometria Solar

A terra em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajectória elíptica um plano que é inclinado aproximadamente $23,5^\circ$ em relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte, dando origem às estações do ano (Torres, 2012).

Figura 2: Órbita da terra em torno do sol



Fonte: www.gospelprime.com.br

Segundo Freitas (2008), pode observar-se o solstício de Verão, em que a duração do dia é máxima, o solstício de Inverno em que a duração do dia é mínima e os equinócios de Primavera e Outono, com igual duração entre o dia e a noite.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

De acordo com Torres (2012), a energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em electricidade, denominada de efeito fotovoltaico e é realizada pelos dispositivos fotovoltaicos (PV). Tal efeito foi relatado pelo físico francês Edmond Becquerel, em 1839, como sendo o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz, ou seja, no momento da interacção da radiação solar com o material semicondutor, ocorre a libertação e movimentação de electrões por este material, gerando-se assim essa diferença de potencial.

2.2.1 Célula Solar

De acordo com Freitas (2008), a célula fotovoltaica é constituída por um material semiconductor, o silício, ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, à conversão directa da radiação solar em potência eléctrica produzida em corrente contínua (CC).

Uma célula fotovoltaica constituída por cristais de silício puro não produziria energia eléctrica. Para haver corrente eléctrica é necessário que exista um campo eléctrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Através do processo conhecido como dopagem do silício, que consiste na introdução de elementos estranhos com o objectivo de alterar as suas propriedades eléctricas, é possível criar duas camadas na célula: a camada tipo *p* e a camada tipo *n*, que possuem, respectivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro (Freitas, 2008).

Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P. Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas, ao serem unidas, exatamente na união P-N, gera-se um campo eléctrico devido aos elétrons do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P (Bittencourt, 2011).

2.2.1.1 Tipos de Células Fotovoltaicas

Dependendo do material utilizado no fabrico das células solares fotovoltaicas, estas podem ser classificadas como células monocristalinas, policristalinas e amorfas. No entanto existem novas tecnologias em fase de desenvolvimento e comercialização. As células que utilizam estas novas tecnologias são denominadas por células de película fina (Freitas, 2008).

O silício monocristalino é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potenciar o efeito fotovoltaico. As células

monocristalinas foram as primeiras a serem elaboradas a partir de um bloco de silício cristalizado num único cristal (Castro, 2004).

O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, dispõe de uma quota de mercado de cerca de 30%. As descontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de electrões e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída. O processo de fabricação é mais barato do que o do silício cristalino (Freitas, 2008)

As células amorfas são compostas por um suporte de vidro ou de outra matéria sintética, na qual é deposta uma camada fina de silício (a organização dos átomos já não é regular como num cristal). O rendimento deste tipo de células é mais baixo do que nas células cristalinas. A sua gama de aplicações são os pequenos produtos de consumo como relógios, calculadoras, mas podem também ser utilizadas em instalações solares (Castro, 2004).

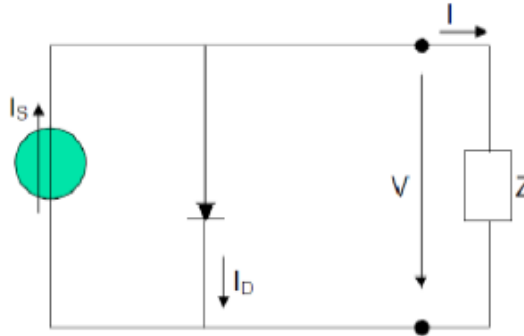
As células de película fina tais como CIS, CdTe e CiGs, encontram-se em fase de desenvolvimento. Apesar de possuírem baixas eficiências, as células de película fina apresentam-se como uma alternativa promissora ao silício, por serem muito mais resistentes aos efeitos de sombreamento e a temperaturas elevadas. Estas apresentam custos de produção mais baixos.

Os painéis solares de CIS apresentam, como o a-Si (silício amorfo) e o CdTe, uma agradável aparência estética. Apresentam rendimentos algo inferiores ao do silício, mas em contrapartida encontram aplicações arquitectónicas diversas, devido às vantagens de utilizarem tecnologias de películas finas e permitirem a passagem parcial de luz. No caso do CdTe, a pouca abundância dos elementos envolvidos e a sua toxicidade são aspectos que têm de ser considerados se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção.

2.2.1.2 Modelo Matemático de um Célula FV

Para se poder analisar pormenorizadamente o comportamento de um sistema elétrico de energia é necessário que sejam desenvolvidos modelos matemáticos para os componentes constituintes do sistema. Uma célula fotovoltaica pode ser descrita através do circuito elétrico equivalente simplificado que representado na figura 3 (Castro, 2004).

Figura 3: Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica alimentando uma carga Z



Fonte: Castro, 2004

De acordo com o mesmo autor citado acima, a fonte de corrente I_s representa a corrente elétrica gerada pelo feixe de radiação luminosa, constituídos fotões, ao atingir a superfície ativa da célula (efeito fotovoltaico). A junção $p-n$ funciona como um díodo que é atravessado por uma corrente interna unidirecional I_D , que depende da tensão V aos terminais da célula (Castro, 2004).

A corrente I_D que se fecha através do díodo é calculada através da equação:

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Em que:

I_0 é a corrente inversa máxima de saturação do díodo;

V é a tensão aos terminais da célula;

m é o fator de idealidade do díodo (díodo ideal: $m = 1$; díodo real: $m > 1$);

V_T é designado por tensão devido a temperatura $V_T = \frac{\sigma \times T}{Q}$

T é a temperatura absoluta da célula ($0^\circ\text{C} = 273,16^\circ\text{K}$);

σ é *constante de Boltzmann* ($K = 1,38 \times 10^{-23} \text{J}/^\circ\text{K}$)

Q é a carga elétrica do eletrão ($Q = 1,6 \times 10^{-19}$).

A corrente I que se fecha pela carga é, portanto dado pela equação abaixo:

$$I = I_s - I_D = I_s - I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (2)$$

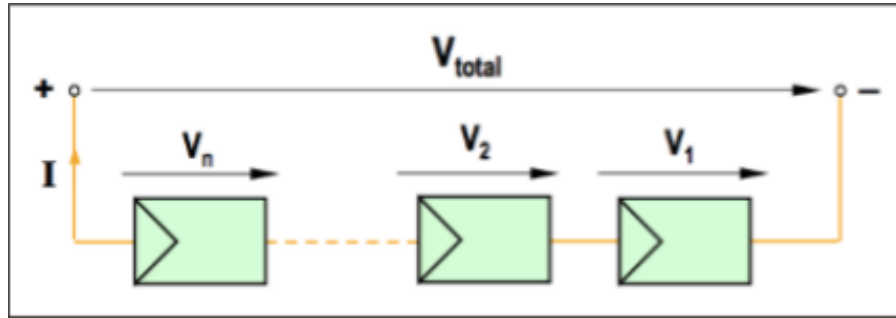
2.2.2 Módulos Fotovoltaicos

Potência máxima de uma única célula fotovoltaica não excede 2 W, o que é manifestamente insuficiente para a maioria das aplicações. Por este motivo, as células são agrupadas em série e em paralelo formando módulos (Course Hero, 2019).

2.2.2.1 Ligados em Série

Segundo Vaz, (2007), os módulos PV ligados em série são designados normalmente por fileiras. Para uma correta interligação, os módulos devem ser da mesma potência e marca, de forma a evitar perdas de energia ao longo do sistema. As células são atravessadas pela mesma corrente e onde a característica resultante deste agrupamento é obtida pela adição das tensões aos terminais das células, mantendo a corrente estipulada do módulo.

Figura 4: Módulos Fotovoltaicos ligados em série



Fonte: Vaz, 2007

Assumindo que a letra “V” representa a tensão e a letra “I” a intensidade de corrente, pode concluir-se o seguinte:

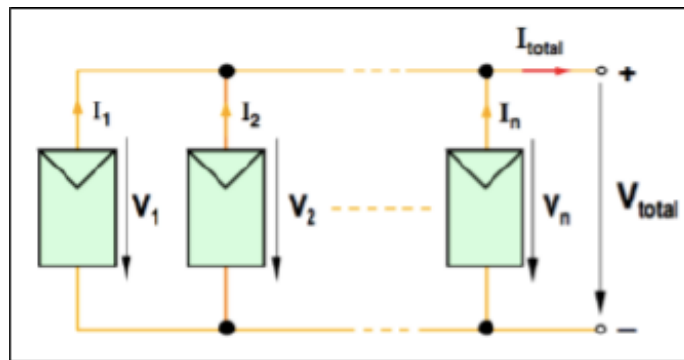
$$V_{Total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (3)$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I_{Total} \quad (4)$$

2.2.2.2 Ligados em Paralelo

No caso de um agrupamento de módulos ligados em paralelo, a intensidade de corrente aumenta para uma mesma tensão ao longo dos módulos. A Figura a seguir representa o esquema de uma associação em paralelo, adotando os mesmos significados para as respectivas letras.

Figura 5: Módulos fotovoltaicos ligados em paralelos



Fonte: Vaz, 200

Conclui-se então:

$$I_{Total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = n.I \quad (5)$$

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n = V_{Total} \quad (6)$$

2.2.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

De acordo com Freitas, (2008), os sistemas fotovoltaicos, sozinhos ou com associação com outras fontes de energia renováveis são já competitivos para a alimentação de certos locais remotos onde as soluções alternativas convencionais (gerador diesel ou rede eléctrica) apresentam inconvenientes ambientais consideráveis e são inferiores do ponto de vista económico. No caso dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede, a situação é bastante diferente, pois estes estão ainda longe de serem competitivos mesmo quando comparados com outras fontes de energia renováveis. Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser explorados de três formas distintas:

Sistemas ligados à rede: entregam toda a energia produzida pelo sistema fotovoltaico à rede. Para tal é necessário um inversor que faz a interface entre o painel e a rede, de modo a converter a energia produzida em corrente contínua (CC) pelo gerador fotovoltaico para alternada, que é exigida pela rede (Torres, 2012).

Sistemas isolados ou autónomos: Um sistema fotovoltaico autónomo é concebido para alimentar um conjunto de cargas sem a presença da rede eléctrica, durante todo o ano. Assim, o dimensionamento do painel é normalmente efectuado com base na radiação disponível no mês com menor radiação solar. Em conjunto com o painel solar o sistema deve incluir também:

- Baterias, de modo a assegurar a alimentação dos consumos nos períodos em que o recurso (radiação solar) não está disponível. As baterias são carregadas sempre que a radiação solar disponível permite gerar uma potência superior a potência de carga da bateria;

- Controlador de carga, para efectuar a gestão da carga da bateria;
- Inversor, no caso de haver cargas a alimentar em CA.

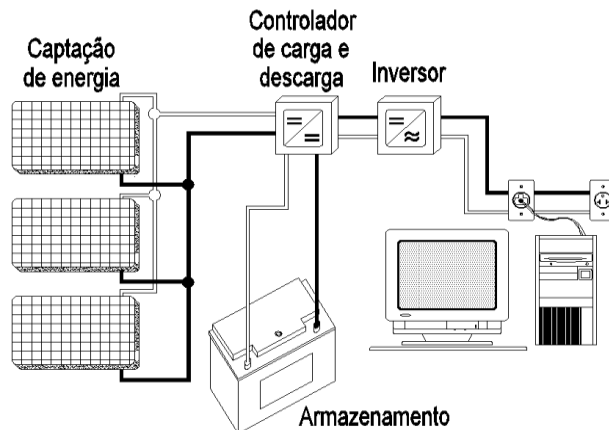
Sistemas híbridos: Em sistema híbridos os sistemas fotovoltaicos são utilizados para alimentar as cargas em conjunto com outros sistemas que utilizam fontes de energias renováveis, como por exemplo sistemas eólicos, ou sistemas convencionais como o gerador *diesel*.

Uma vez que os sistemas híbridos são explorados na ausência da rede eléctrica convencional, torna-se necessária a existência de um sistema de gestão e controlo das diferentes fontes de energia de modo a satisfazer os consumidores e assegurar o menor custo de produção da energia. Para tal é necessário maximizar a eficiência do sistema em função do consumo e da disponibilidade dos recursos.

2.2.4 Metodologia de Dimensionamento PV

A Energia solar fotovoltaica caracteriza-se por transformar a energia solar em energia eléctrica. O processo é dividido em várias etapas: captação de energia, converter CC-CA, armazenamento, controle de carga e descarga, conforme mostra a figura abaixo.

Figura 6: Fluxograma do sistema fotovoltaico



Fonte: Krenzinger, 2004

2.2.4.1 Etapas do Dimensionamento

i. Levantamento de Carga

O levantamento deve considerar a potência de cada carga, quantidade de cargas do mesmo tipo e também o tempo que essas cargas ficarão ligadas durante o dia, assim obtendo a unidade de Wh/dia. Essas informações são necessárias, pois com o cálculo da energia diária podemos obter a potência necessária do sistema (Carneiro, 2009).

ii. Radiação Solar

A energia solar captada pelas células é obtida através da intensidade de radiação solar. Esta radiação varia com a movimentação do Sol em relação à Terra. Conforme as estações do ano temos os dados de posicionamento do Sol e com este posicionamento podemos obter o nível médio de radiação no local (Krenzinger, 2004).

A potência apresentada nos painéis fotovoltaicos é referenciada em um nível de radiação de 1000 W/m^2 . Este valor pode ser maior ou menor dependendo da localização geográfica. Apesar disto, pode-se definir um valor médio para o nível de radiação solar incidente normalmente sobre uma superfície situada no topo da atmosfera. Dados recentes da WMO (*World Meteorological Organization*) indicam um valor médio de 1367 W/m^2 para a radiação extraterrestre (Krenzinger, 2004).

iii. Inclinação dos módulos fotovoltaicos

A posição das placas solares definidas no projeto pode ser calculada pela localização da cidade, de acordo com a latitude. Esta característica é muito importante para que obtenha um bom resultado na captação de energia. A posição correta do painel solar no hemisfério norte é voltada para o sul e no hemisfério Sul virada ao norte (Princon, 2004):

iv. Potencia FV e módulos FV

Tendo como base a demanda energética do local deve-se proceder com o cálculo da potência fotovoltaica, dada pela seguinte equação (Carneiro, 2009):

$$P_{FV} = \frac{E(KWh/dia)}{HSP} \quad (7)$$

Sendo: P_{FV} - Potencia Fotovoltaica

$E(KWh/dia)$ -Energia diaria

HSP-Horas de sol Pleno

De seguida deve proceder com a escolha dos modulos, em que o numero de modulos é dada pela razao entre a potencia Fv e a potencia do modulo escolhido.

$$N_m = \frac{P_{FV}}{P_m} \quad (8)$$

Sendo:

N_m - Numero modulos

P_m - Potencia do modulo escolhido

v. Inversor

A potência escolhida para inversor deve estar relacionada em relação a potência do gerador fotovoltaico, admitindo uma variação de 20% (Carneiro, 2009).

$$0,8 \times P_{FV} < P_{inv} < 1,2 \times P_{FV} \quad (9)$$

vi. Banco de Baterias

A tarefa do acumulador é a de compensar a falta de geração em horários de plena carga e geração de energia sem carga. O banco de baterias é calculado pelo consumo de energia

elétrica, tensão e pela sua autonomia onde visa alimentar o estabelecimento com o consumo normal durante alguns dias, profundidade de descarga (Krenzinger, 2004).

$$C_n = \frac{E_{diaria} \times D_a}{V_{Bat} \times \eta_{Bat} \times K_{Bat}} \quad (10)$$

Sendo:

C_n -Capacidade da bateria

E_{diaria} – Energia diária

V_{Bat} – Tensão do banco bateria

η_{Bat} – Eficiência do banco de baterias

k_{Bat} – Profundidade de descarga

Na escolha da bateria, deve ser considerada a eficiência dos modelos disponíveis podendo tornar mais confiável o acumulador (Princon, 2004).

$$B_n = \frac{c_n}{c_b} \quad (11)$$

B_n - Quantidade de baterias;

C_b - Capacidade das baterias utilizadas;

2.3 Sistemas de Irrigação Convencionais

Segundo Marouelli *et al.*, (2000 *apud* Medeiros, 2018), irrigação é o nome designado ao processo que proporciona a sobrevivência e produtividade das plantas através do fornecimento de água no momento adequado e na quantidade necessária.

Existem diversos tipos de sistemas de irrigação, por exemplo, irrigação por gotejamento, aspersão, subirrigação, sulco e microaspersão. De acordo com Coelho *et al.*, (2007 *apud* Medeiros, 2018) a seleção do sistema depende de diversas condições como a quantidade de recursos hídricos disponível, custo de implantação do sistema, tipo do solo e da planta.

2.4 Sistemas de Irrigação Automatizados

Segundo Reis, (2015 *apud* Medeiros, 2018), há uma profunda repercussão sobre as diferentes tecnologias de sistemas de automação para irrigação, devido as melhorias na qualidade do processo de cultivo, pois possibilitam irrigações sem a necessidade de acompanhamento humano, além de otimizar o consumo de água. Para Durson & Ozden, (2011 *apud* Medeiros, 2018), a demanda altamente crescente de água doce requer o uso de tecnologia de automação e seus instrumentos para gerar eficiência na utilização dos recursos hídricos.

2.5 Estufas

Estufas são estruturas com o objetivo de acumular e conter o calor no seu interior, mantendo assim uma temperatura maior no seu interior que ao seu redor. Normalmente composta de uma caixa e uma fonte de calor.

Numa estufa onde a fonte de calor é o sol, normalmente utilizado para cultivar (plantas, árvores etc.), o aquecimento dá-se essencialmente porque a convecção é suprimida. Nesse tipo de estufa, normalmente feita de materiais semitransparentes, não há troca de ar entre o interior e o exterior, sendo assim a energia que entra pela radiação solar aquece o ambiente interno e não é perdida com as correntes ascendentes, que dissipariam o calor (Glória *et al*, 2015).

2.6 Microcontroladores

Denardin, (2008, *apud* Madalosso, 2014) afirma que um microcontrolador é um sistema computacional completo, no qual está incluída uma CPU (*Central Processor Unit*); memória de dados e programa, EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) ou memória Flash (uma variação das EEPROM) para armazenamento

permanente de dados; um sistema de *clock*; portas de I/O (*Input/Output*); além de outros possíveis periféricos, tais como, módulos de temporização e conversores A/D (Analógico/Digital) entre outros, integrados em um mesmo componente. As partes integrantes de qualquer computador, e que também estão presentes, em menor escala, nos microcontroladores são:

- Unidade Central de Processamento (CPU);
- Sistema de clock para dar sequência às atividades da CPU;
- Memória para armazenamento de instruções e para manipulação de dados;
- Entradas para interiorizar na CPU informações do mundo externo;
- Saídas para exteriorizar informações processadas pela CPU para o mundo externo;
- Programa (*firmware*) para definir um objetivo ao sistema.

2.6.1 Arduíno

A Revolução Industrial trouxe benefícios para ajudar a desenvolver métodos de trabalho mais específicos e eficientes nas grandes indústrias que hoje tem como prioridade para seu sistema, a produção em larga escala, usando a automatização como base sustentável. Durante esse período foram desenvolvidos dispositivos para realizar tarefas repetitivas, já que precisavam de muita manutenção e tinham um desgaste ao longo do tempo.

Segundo Fonseca; BEPPU, (2010, *apud* Fernandes et al., 2017,), o Arduíno pode ser definido como uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, composto por um microcontrolador, com uma estrutura de entradas e saídas acopladas que podem ser conectados a outros circuitos e sensores.

Figura 7: Plataforma Arduino



Fonte: www.amazon.com/

A plataforma Arduino foi uma das plataformas mais inovadoras e de mais sucesso. Hoje possui dezenas de modelos disponíveis, e uma grande quantidade de *software* e *hardware* já pode ser usado em conjunto.

O Arduino, que a princípio se conectava a sensores e atuadores via circuitos eletrônicos e programação, agora tem uma gama de funcionalidades, como conexão à internet (Côrtes, 2017).

2.6.1.1 Módulos para Arduino

✓ Módulo Ethernet

O *Ethernet Shield* W5100 permite que uma placa Arduino conecte-se a internet. É baseado no chip *ethernet* da *WIZnet ethernet* W5100 que fornece acesso à rede (IP) nos protocolos TCP ou UDP e é facilmente utilizado usando a biblioteca *Ethernet Library* e *SD Library*.

O *Shield* possui um *slot* para cartão micro-SD, que pode ser usado para guardar e armazenar arquivos de um servidor na rede. O Arduino comunica-se com o W5100 e o cartão micro-SD usando o *bus* SPI (Baú da Eletrônica, 2017).

Figura 8: Modulo Ethernet



Fonte: www.fermarc.com

✓ **Modulo GSM**

O Módulo SIM800L é utilizado para comunicação via dados GSM/ GPRS, necessita de um chip de operadora de telefonia móvel para comunicação, o módulo pode ter suas ações controladas por diversos tipos de microcontroladores, como o Arduino por exemplo.

O módulo GSM funciona com tensão de 3.7 à 4.2V e a interface serial USB-TTL pode ser conectada diretamente no microcontrolador. Possui luz indicadora de conexão na própria placa, e pinos de conexão tanto para microfone como para alto-falante (Vida de Silício, [S.D]).

Figura 9: Módulo SIM800L



Fonte: www.aliexpress.com

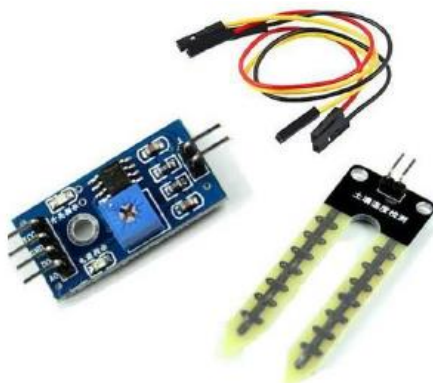
2.7 Sensores

Sensores são dispositivos eletrônicos que captam informações do ambiente e as transformam em sinais elétricos que podem ser interpretados pelo Arduino (Capelli, 2014).

2.7.1 Sensor de Humidade do Solo FC-28

De acordo com Mcroberts, (2011, *apud* Fernandes *et al.*, 2017), o sensor de umidade do solo FC-28, pode ser usado para detectar as variações de umidade. Utiliza duas sondas para passar corrente através do solo, e faz leitura da resistência para obter o nível de umidade ideal. Pode ser usado na areia, terra ou até mesmo diretamente na água, com alimentação de 3.3V ou 5V e sinal da tensão de saída de 0V a 4.2V.

Figura 10: Sensor de humidade do solo FC-28



Fonte: FERNANDES, 2017

2.7.2 Sensor de Luminosidade LDR

Segundo Mcroberts, (2015, *apud* Fernandes *et al.*, 2017), o sensor de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor*), apresentado na figura 05, é um componente cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luz. Quanto maior for a intensidade da luz sobre ele, menor a resistência e quando menor for a intensidade da luz maior sua resistência.

Figura 11: Sensor de luminosidade LDR

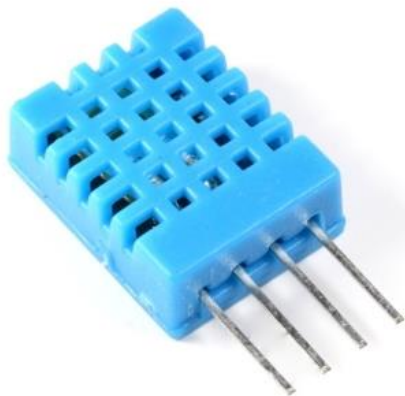


Fonte: FERNADES, 2017

2.7.3 Sensor Temperatura DHT11

O sensor de temperatura e umidade DHT11digital é um sensor composto que contém uma saída de sinal digital calibrada da temperatura e humidade. Aplicação de uma tecnologia dedicada de coleta de módulos digitais e da tecnologia de detecção de temperatura e humidade, para garantir que o produto tenha alta confiabilidade e excelente estabilidade a longo prazo. O sensor inclui uma sensação resistiva de componentes húmidos e um dispositivo de medição de temperatura NTC, e conectado a um microcontrolador de 8 bits de alto desempenho (Flipflop, 2013).

Figura 12: Sensor Temperatura DHT11



Fonte: <https://www.filipeflop.com>

2.7.4 Sensor de Temperatura DS18B20

O Sensor de Temperatura DS18B20 é um sensor capaz de fazer medições de -55°C até 125°C em ambientes secos, húmidos e submersos por água, sem a necessidade de componentes externos, isso devido à sua impermeabilidade.

O Sensor de Temperatura é baseado no Circuito Integrado DS18B20. É um módulo com ótimas qualidades: Além de ser bastante preciso ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ exatidão), proporciona leituras de temperatura de até 12-bits e é configurável através de uma conexão de dados com uma plataforma como Arduino ou Raspberry Pi, por exemplo. Trabalha com tensão de operação de 3 à 5V, tem faixa de medição de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$ e sua ponta é de aço inoxidável (Curto Circuito, 2016).

Figura 13: Sensor de Temperatura DS18B20



Fonte: www.filipeflop.com

CAPITULO III: CASO DE ESTUDO

3.1 Localização Geográfica do Projeto

O projeto ficará localizado na ilha de São Vicente, na Zona da Ribeira de Vinha. São Vicente integra o grupo Barlavento e situa-se entre os paralelos, 16° 46' e 16° 55' de latitude Norte e os meridianos 24° 51' e 25° 05' de longitude Oeste de Greenwich.

Tem o seu maior comprimento na direcção Leste-Oeste entre a ponta Machado e a ponta do Calhau com 24 km. A sua largura máxima situa-se na direcção Norte-Sul entre a ponta João de Évora e a ponta Lombinho, com 16km de extensão. A superfície total da ilha é de 227 km², o que representa 5.6% do território habitado do arquipélago.

É considerada uma ilha semi-plana, com vários maciços montanhosos, atingindo a maior altitude no Monte Verde com 750m. A nordeste e leste da ilha predomina um litoral baixo.

O caso em estudo, fica localizado numa Zona da ilha de São Vicente, denominada de Ribeira de Vinha e que está inserida entre altitudes 30 e 130 m, na zona árida. Trata-se de uma ribeira com um vale, essencialmente arenoso de montante a jusante. Os solos de Ribeira de Vinha são de textura média, com boa drenagem interna e influenciados, a jusante, pelo lençol freático salino, devido à acção das marés. O Vale da Ribeira de Vinha está, essencialmente, ocupado pelo povoamento florestal *Prosopis juliflora* (Acácia Americana – espécie introduzida) e *Tamarix senegalensis* (tarafe).

É uma zona predominantemente agrícola, deve o seu nome à ribeira homónima, e a maior parte das suas propriedades, são hortas. Por se situar numa zona fértil em lençóis de água, possui vários poços e tanques, sendo a maior parte delas secas, devido as frequentes secas que flagelaram o arquipélago na sua história recente.

3.2 Descrição do Caso de Estudo

A realização deste trabalho, que consiste num projeto de estufa automatizada, surgiu com base num caso de estudo na ilha de São Vicente, propriamente numa estufa agrícola na Zona da Ribeira de Vinha, e nesse contexto pretende-se recorrer ao uso de um sistema fotovoltaico para a sua auto-alimentação.

De realçar que para o apoio à agricultura nas ilhas Cabo Verde, é fundamental ter o conhecimento detalhado dos tipos climáticos e micro climáticos, como também a preservação do meio ambiente e a própria gestão dos recursos hídricos, onde as estufas, nos últimos anos vem ganhando cada vez mais um papel predominante.

A estufa em estudo, está dividida em secções, conforme retratado na figura 14, onde é notória as secções da estufa, em que cada secção possui uma área de 1200 m^2 , mas a área total de cultivo é de 6000 m^2 . Há umas variedades de cultivos, onde está incluído cultivo de pepinos, tomates, pimentão, entre outros. A estufa é coberta por uma lona extensa, criando um micro clima propício para as culturas e também proteger contra os intemperes.

Figura 14: Estufa agrícola



Fonte: Elaboração própria

A irrigação é feita por meio da dessalinização da água salobra, através da membrana de osmose inversa. A água salobra passa por um processo de preparação, em que por uma máquina é feita a separação do sal em excesso na água, fazendo com que ela seja adequada para cultivo. A quantidade de água utilizada para fazer a irrigação por dia é de 15 Ton, accionada de forma manual com sistema de rega gota-a-gota. A bomba eletrica tem uma potência de 1.14 kW e bombeia a água para os irrigadores.

Figura 15: Máquina de dessalinização



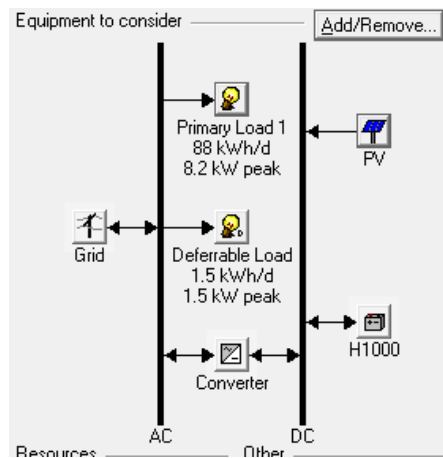
Fonte: Elaboração própria

3.3 Dimensionamento PV

As simulações computacionais são de grande importância, não só em questões económicas, mas também em questões ambientais e eléctricas, a fim de realizar uma análise técnica-económica-ambiental, foi realizado simulações utilizando a ferramenta computacional HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*), aplicado na estufa, considerando o perfil de carga com o uso do sistema fotovoltaico conectado à rede.

Na etapa de construção, são seleccionados os componentes da rede. Os componentes considerados na simulação: módulo solar fotovoltaico, sistema de baterias e conversor, como demonstra a figura 16.

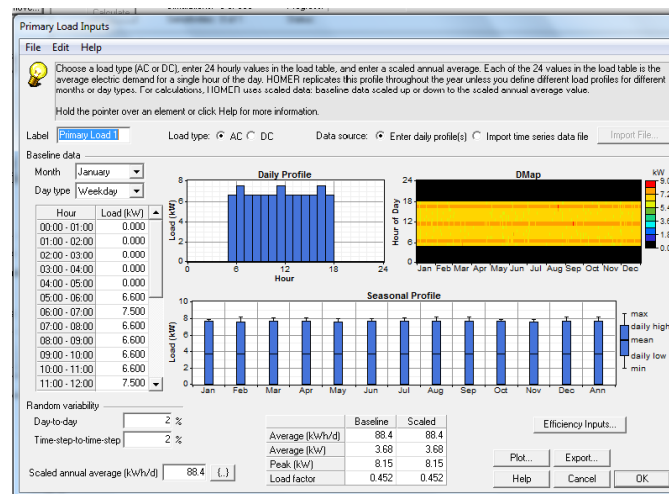
Figura 16: Componentes de simulação no HOMER



Fonte: Elaboração própria

Numa primeira etapa para efectuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário inserir no *software* o diagrama de carga da instalação. A potência de pico é 8,15 KW e a demanda média de energia é 88, 4 KWh/dia. A figura abaixo mostra o diagrama de carga da instalação.

Figura 17: Inserção das cargas



Fonte: Elaboração própria

Para o caso dessa instalação, com base nas simulações efectuadas no *software Homer*, é necessário uma potência fotovoltaica de 10KW, para suprir a demanda energética da instalação. Baseando nos dados da radiação solar no local de instalação, o sistema ira

operar aproximadamente 4 387 horas por ano, o que corresponde a um fator de capacidade de 21,4%.

No banco de baterias, foi utilizado as baterias de *hoppecke 10*, em um *string* com 12 em paralelo. O sistema possui capacidade nominal de 24 kWh. Considerando uma profundidade de carga de 70% a capacidade nominal utilizável é de apenas 16,8 kWh.

Os resultados económicos do sistema, são de um investimento inicial correspondente a 1 210 000 CVE, com um custo manutenção anual de 10 411 CVE. O custo nivelado de energia é 28,16 ECV, que esta abaixo do custo de eletricidade da eletra.

✓ **Seleção dos Equipamentos Fotovoltaicos**

Derivado dos resultados obtidos no dimensionamento no *Software Homer* selecionou-se os seguintes equipamentos para comporem o sistema *on-grid* a ser instalado.

Optou-se por um sistema *on-grid*, porque além de ser mais barato este possibilita a injeção de energia na rede diminuindo assim o tempo de amortecimento do investimento.

Assim sendo para o painel PV de 10 KW selecionou-se módulos *Recom Black Phanter 300W*, um modulo monocristalino de alta eficiência e com um custo unitário de 25 300\$00, será necessário cerca de 33 módulos, abaixo imagem do módulo selecionado.

Figura 18:Módulo recom black 300w



Fonte: Solarimpac¹, 2018

O inversor selecionado foi um Fronius Primo 8.2 KW, um inversor *on-grid* monofásico de altíssimo rendimento e com 2 MPPTs, com um preço unitário de 215 050\$00. Abaixo a imagem correspondente ao inversor proposto.

Figura 19: Inversor On-grid 8.2 KW



Fonte: Solarimpact², 2019

A estrutura será uma estrutura triangular em Alumínio Inoxidável com um custo de 43 000\$00 para cada 3 módulos. Com uma abertura de 16° orientado para o sul atribuindo assim um azimuth igual a zero.

¹ Link: <https://loja.solarimpact.pt/modulo-fotovoltaico-recom-black-panther-300w>

² Link: <https://loja.solarimpact.pt/fronius-primo-82-1-light>

A configuração dos módulos será em serie dividindo-se em dois *strings* com 16 módulos cada um, totalizando 524 VDC, 9.01 A e 4 800W em cada um dos *strings*.

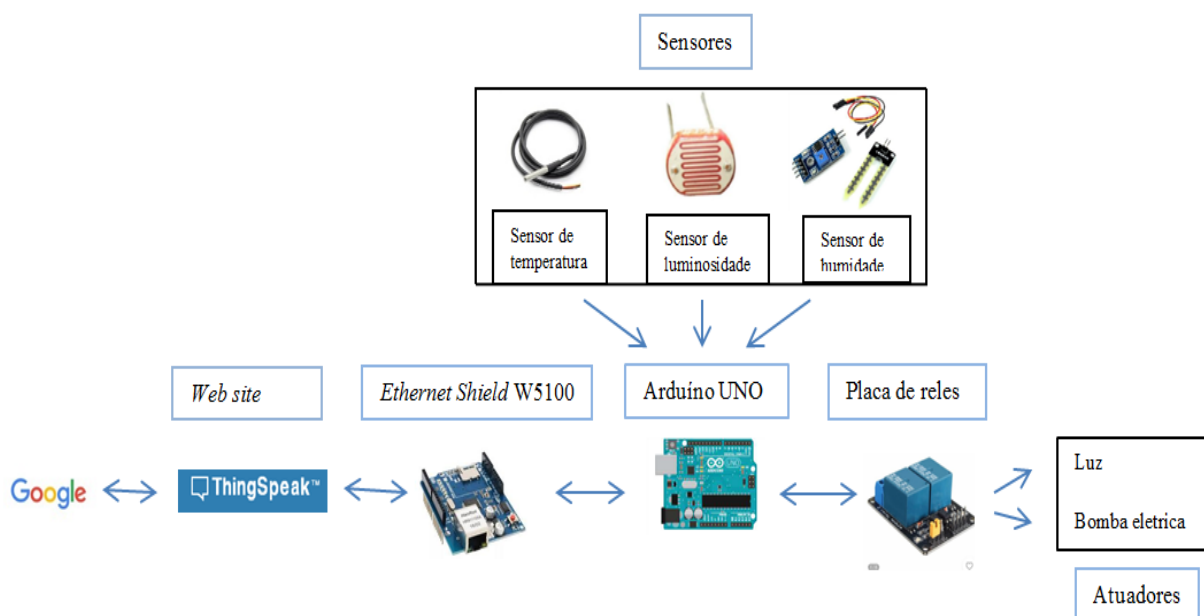
Para o sistema de cabos utilizar-se-á cabos PV de 4 mm entre os módulos e cabos de 6 mm painel-inversor. O conjunto de proteção será formado por fusíveis e disjuntores de 10 A. Isso tudo será utilizado uma taxa de 5% do custo dos equipamentos para suportar estes custos e outros possíveis.

3.4 Sistema de Controlo Automatizado

Nesse capítulo fala detalhadamente sobre o projeto, onde este será dividido em três partes no controlo e supervisão da estufa.

A primeira parte é o sistema físico, na qual tem a estufa, sensores e atuadores do sistema, a segunda é a parte do processamento, em que encontra o Arduino e outros *hardwares* e por fim a parte do usuário mas propriamente a página web ou interface.

Figura 20: Esquema dos componentes do projecto



Fonte: Elaboração própria

3.4.1 Sistema físico

No projeto a parte física é onde encontra a estufa, os sensores e atuadores do sistema. Foram utilizados com uma quantidade mínima alguns sensores e atuadores, que são compatíveis a estufa.

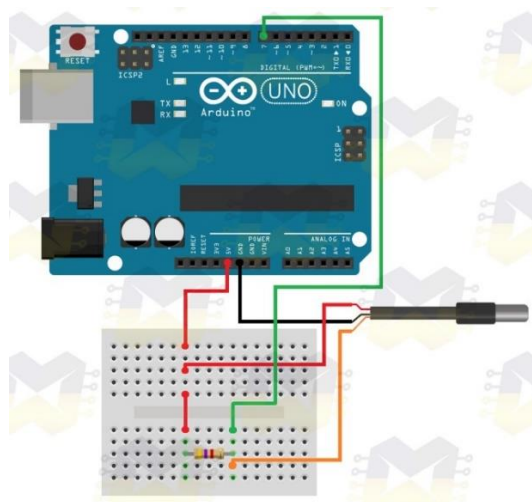
3.4.1.1 Sensores

Nesse projeto foi utilizado alguns sensores, para a realização da leitura da estufa para o bom crescimento do plantio.

➤ Sensor de Temperatura

Para detectar a temperatura da estufa, decidiu-se usar o sensor de temperatura DS18B20, com o objetivo de evitar que o sistema efetue a irrigação em momentos, em que a temperatura possa prejudicar o desenvolvimento da planta ou até mesmo leva-la a morte, por isso torna-se necessário o uso de sensores para a verificação da temperatura ambiente.

Figura 21: Circuito de ligação do DS18B20 com o Arduino



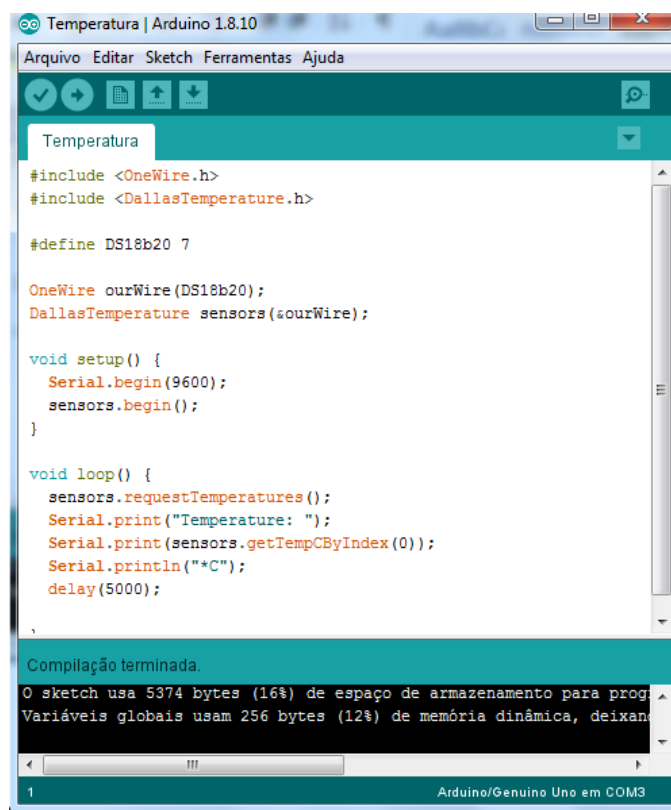
Fonte: Elaboração própria

Esse sensor de temperatura DS18B20 permite que vários outros sensores de temperatura sejam ligados apenas em uma única porta do microcontrolador, ou seja a uma única saída, porque a comunicação é feita através de um único fio (*1-Wire*). O que permite que vários sensores sejam ligados em apenas uma porta do microcontrolador, é o fato de cada sensor possuir um ID único de 64 bits.

Nessa ligação do sensor de temperatura DS18B20 com o Arduino, teve a necessidade um resistor de 4,7K Ω usado para a calibração do sensor, um Arduino com cabo USB, um *protoboard* e três cabos *Jumper* macho-macho.

Código:

Figura 22: Código para leitura do DS18B20 no Arduino



```
Temperatura | Arduino 1.8.10
Arquivo  Editar  Sketch  Ferramentas  Ajuda

Temperatura

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define DS18B20 7

OneWire ourWire(DS18B20);
DallasTemperature sensors(&ourWire);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
  Serial.println("°C");
  delay(5000);
}

Compilação terminada.
O sketch usa 5374 bytes (16%) de espaço de armazenamento para prog...
Variáveis globais usam 256 bytes (12%) de memória dinâmica, deixan...

1 Arduino/Genuino Uno em COM3
```

Fonte: Elaboração própria

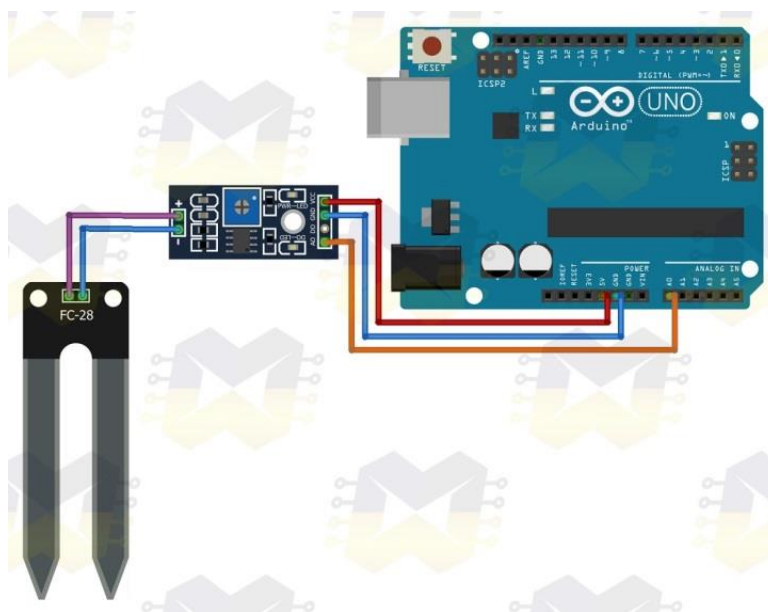
➤ Sensor de Humidade

O sensor de humidade utilizado no projecto foi o FC-28, como já tinha referido no estado da arte esse sensor, pode ser usado para detectar as variações de humidade do solo.

O sensor de humidade do solo consiste em 2 partes: uma sonda que entra em contato com o solo, e um pequeno módulo contendo um chip comparador LM393 (*datasheet*), que lê os dados que vêm do sensor e envia-os para o microcontrolador, neste caso, o Arduino Uno. Como saída, temos um pino D0, que fica em nível 0 ou 1 dependendo da humidade, e um pino de saída analógica (A0), que possibilita monitorar com maior precisão usando uma porta analógica do microcontrolador.

O sensor permite fazer o monitoramento em tempo real da quantidade de água presente no solo, determinando onde, quando e quanto irrigar, proporcionando um uso eficiente de recursos e eliminando a necessidade de mão-de-obra para efetuar a irrigação, caso o solo esteja seco o sensor mantém a saída (digital) em nível alto e quando o solo estiver húmido a saída (digital) se mantém em nível baixo.

Figura 23: Circuito de ligação do FC-28 com o Arduino

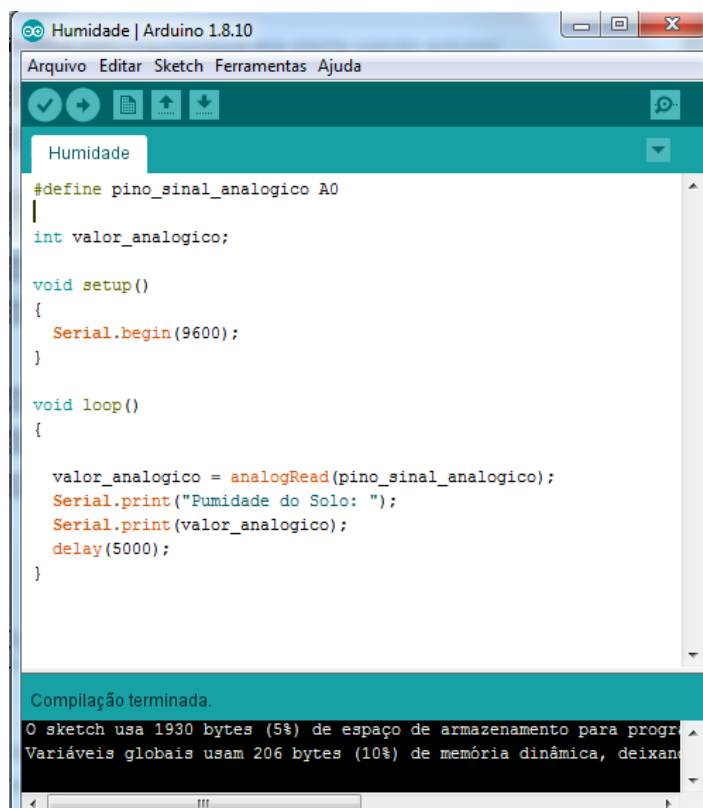


Fonte: Elaboração própria

Para a realização dessa ligação foi necessário Arduino com cabo USB, o sensor de humidade do solo FC-28, três cabos macho-fêmea e por fim três cabos fêmea-fêmea.

Código:

Figura 24: Código para leitura do FC-28 no Arduino



```
Humidade | Arduino 1.8.10
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Humidade

#define pino_sinal_analogico A0
int valor_analogico;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  valor_analogico = analogRead(pino_sinal_analogico);
  Serial.print("Pumidade do Solo: ");
  Serial.print(valor_analogico);
  delay(5000);
}

Compilação terminada.
O sketch usa 1930 bytes (5%) de espaço de armazenamento para progr
Variáveis globais usam 206 bytes (10%) de memória dinâmica, deixan
```

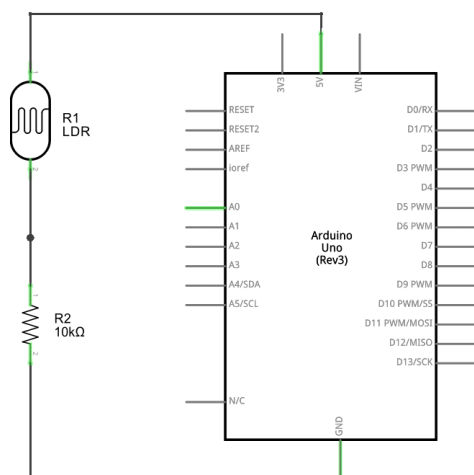
Fonte: Elaboração própria

➤ Sensor de Luminosidade

Na medição da luminosidade no interior da estufa foi utilizado um LDR, que é um resistor sensível à luz, na qual varia sua resistência conforme é alterada a intensidade luminosa que incide sobre ele. À medida que a intensidade luminosa aumenta a sua resistência diminui, para algumas dezenas de Ohms, e quando a intensidade luminosa diminui, a sua resistência aumenta para alguns megas Ohms.

Para fazer a leitura da variação de luminosidade, ou seja, a variação de resistência do LDR, é necessário montar um divisor de tensão, conforme o esquema abaixo:

Figura 25: Circuito de ligação do LDR com o Arduino



Fonte: Elaboração própria

Código:

Figura 26: Código para leitura do LDR no Arduino

```
Luminosidade | Arduino 1.8.10
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Luminosidade

int sensorPin = 1;
int val;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  val = analogRead(sensorPin);
  Serial.println(val);
  delay(1000);
}

Compilação terminada.

O sketch usa 1898 bytes (5%) de espaço de armazenamento para
Variáveis globais usam 108 bytes (9%) de memória dinâmica, de
1

Arduino/Genuino Uno em COM3
```

Fonte: Elaboração própria

3.4.1.2 Atuadores do Sistema

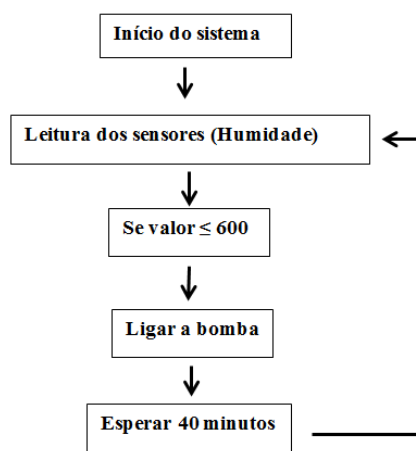
Os atuadores do sistema servem para receber sinais elétricos, e ao receber esses sinais, realiza alguma acção no sistema. Os atuadores que foram utilizados são: relés, eletrobombas e lâmpadas.

Foi utilizado relés no projecto, em que são interruptores electromecânicos, uma vez que a corrente elétrica percorre as bobinas de um rele, cria um campo magnético que atrai ou repulsa uma chave metálica, e fecha um circuito elétrico. Dessa forma, podem isolar tensões diferentes em um mesmo circuito.

Como os pinos na saída do Arduino apresentam uma corrente máxima de 40mA, o que torna impossível realizar o accionamento de cargas de elevada potência. Pois é necessário utilizar um módulo relé que é accionado a 5V, que irá funcionar como uma chave electrónica para accionar as bombas da estufa e lâmpadas.

Para efetuar o accionamento das bombas de forma automática, é instalado em cada ponto da estufa um conjunto de sensores de humidade, que em função do estado do solo permite detetar se este encontra húmido ou seco. A figura 26 mostra o diagrama de controlo a ser desenvolvido na plataforma Arduino, para ligar/desligar as bombas de forma automática.

Figura 27: Diagrama de controlo na plataforma Arduino para acionar as bombas



Fonte: Elaboração própria

Código:

Figura 28: Código para leitura do relé no Arduino



```
Modulo_Rele | Arduino 1.8.10
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Modulo_Rele
#define rele 2

void setup() {
  pinMode(rele, OUTPUT);
}

void loop() {
  int sensor = analogRead (A0);

  if (sensor > 600) {
    digitalWrite(rele, LOW);
  }

  else {
    digitalWrite(rele, HIGH);
  }
}

Salvo.
Sketch names must start with a letter or number, followed by letters, numbers, dashes, dots and underscores. Maximum length is 63 characters.
4 Arduino/Genuíno Uno em COM3
```

Fonte: Elaboração própria

3.4.2 Processamento

No desenvolvimento do projeto foi utilizado o microcontrolador Arduino Uno. Este é o principal módulo ou seja o coração do projecto, na qual é efetuada a aquisição processamento dos dados.

Para controlar os pinos e acções do Arduino, teve a necessidade de instalar o “Arduino IDE”, disponibilizado para *download* no site oficial, em que esse *software* aceita códigos em C/C++ e com uma interface gráfica simples. A função “*setup*” do *software* é que faz o ajuste das configurações das portas de entrada e saída dos sensores e atuadores do sistema, utilizados no trabalho, e a função “*loop*” é um laço infinito na qual cria a rotina do programa.

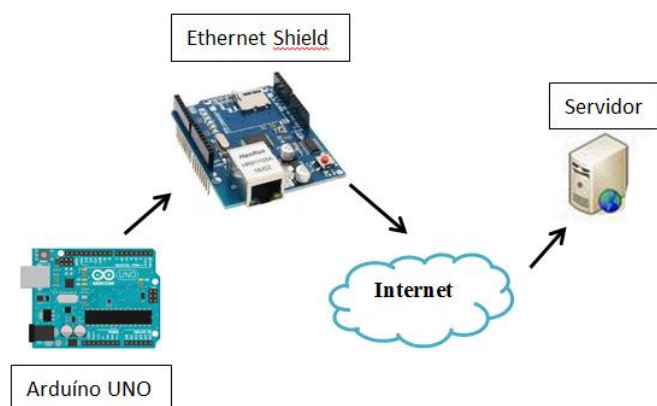
A partir da comunicação serial do Arduino e um computador, será gerado uma lista contendo data, hora e os valores de temperatura, humidade e luminosidade naquele instante.

O microcontrolador recebe sinais eletrico dos sensores e através desses dados ele controla os atuadores do sistema.

O sistema web possibilita que o usuário faça conexão com o sistema, através do módulo *Ethernet Shield* W5100, que permite ao Arduino se conetar a internet, a partir de uma interface web, permitindo controlar e configurar o sistema.

O módulo *Ethernet Shield* W5100 é utilizado de forma simples e prática, pois basta acoplar o *shield* em cima do Arduino, de seguida conectar o *shield* ao roteador / *modem* através de um cabo de rede RJ45 e por fim inserir o código fonte correto no Arduino e usufruir dos benefícios.

Figura 29: Diagrama esquematizada do processamento



Fonte: Elaboração própria

3.4.3 Página Web ou Interface

A Interface de usuário foi desenvolvida utilizando um sistema web, com o objetivo de ser acessada a partir de qualquer dispositivo que possibilite a navegação web. Isso é possível com a utilização do módulo *Ethernet Shiel* W9100, em que é responsável por estabelecer

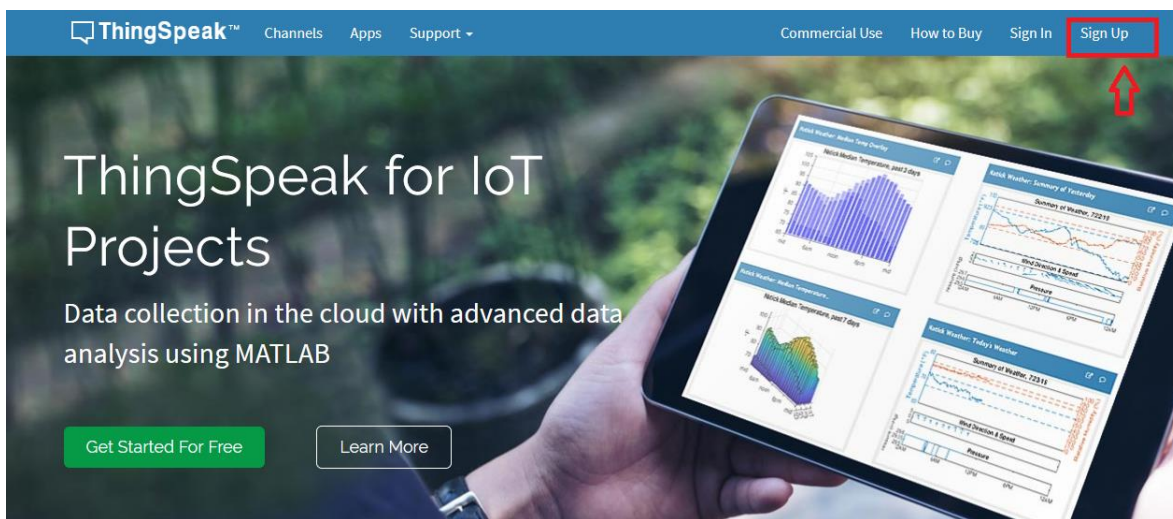
uma conexão entre a plataforma Arduino e a Internet, possibilitando que os dados dos sensores e dos atuadores sejam enviados para a plataforma *ThingSpeak*³, tornando possível o monitoramento do funcionamento da estufa de forma remota e também armazenar leitura dos sensores e outros.

✓ Web Site

A plataforma *thingspeak* no projecto serve para colectar os dados dos sensores e atuadores do sistema, através desses dados coletados ele analisa e consegue realizar acções na estufa.

A configuração da plataforma *thingspeak*, dá-se inicialmente no *web site* da plataforma, em que primeiramente se inscreve na pagina criando uma conta pessoal, contendo o *email* e o *password*.

Figura 30: Inscrição na plataforma Thingspeak

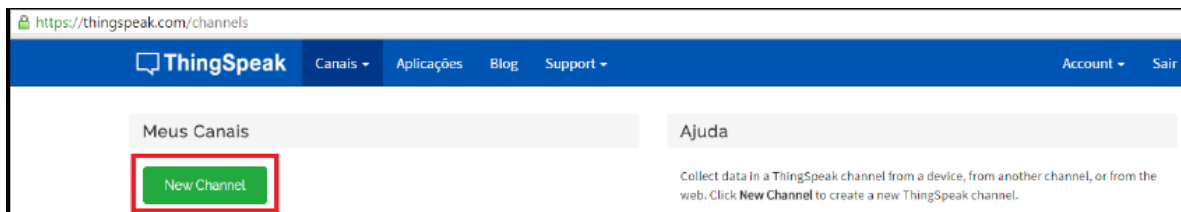


Fonte: Elaboração própria

Depois de ser registrado, foi necessário criar um novo canal (*New Channel*), para receber os dados do sistema, de acordo com a figura 32.

³ É uma plataforma de análise IoT (*internet of things*) que permite agregar, visualizar e analisar stream de dados, de uma forma muito simples

Figura 31: Criação do canal no thingspeak



Fonte: Elaboração própria

A criação do canal é bastante simples e intuitiva, sendo necessário a marcação referente ao número de campos que serão enviados para o canal, de seguida preencher os campos necessários, em que no caso do projeto foi utilizado três campos de dados: temperatura, humidade do solo e luminosidade, conforme demonstra a figura 33.

Figura 32: Criação do canal projeto estufa

New Channel

Name	<input type="text" value="Projeto estufa"/>	
Description	<input type="text" value="Estufa controlada pelo arduino- Projeto final"/>	
Field 1	<input type="text" value="Temperatura"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	<input type="text" value="Humidade"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 3	<input type="text" value="Luminosidade"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 4	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
Field 5	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
Field 6	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
Field 7	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
Field 8	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Elaboração própria

A página permite, ainda, configurar novos campos, exportar e importar dados. Porém, o mais importante é o acesso à chave de escrita do canal, que servirá como uma senha para a comunicação do Arduino com a plataforma *ThingSpeak*. A chave fica contida no código do

software e deve ser mantida em sigilo, para efeitos de segurança da informação. Na figura 34 mostra onde encontrar a chave.

Figura 33: Chave de Escrita ThingSpeak

Write API Key

Key	DP8Z61EPFRKD1ZR1
Generate New Write API Key	

Read API Keys

Key	01NQ133NQSHZKL6G
Note	

Fonte: Elaboração própria

CAPITULO IV: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo descrevem-se os testes realizados com o intuito de verificar o funcionamento do projecto controlado e os resultados obtidos, com o objectivo de avaliar se o mesmo atende as especificações que foram propostas.

Com o circuito ligado, foram testados os sensores e o *Shield Ethernet* e teve a necessidade de verificar se os dados dos sensores estavam sendo enviados para a plataforma *Thingspeak*, e que também apresentava resultados satisfatórias, com comunicação confiável e sem falhas.

4.1 Teste de Temperatura

No teste da temperatura foi feita a leitura inicial do sensor DS18B20. Para testar se o sensor estava enviando dados do protótipo para a plataforma *thingspeak*, foi utilizado um secador de cabelo com o intuito de aumentar a temperatura ambiente, de acordo com o código configurado. Houve variações da temperatura ao longo do tempo.

Com a ativação do cooler localizado dentro do protótipo a temperatura diminui, e pode notar um declive na curva da temperatura.

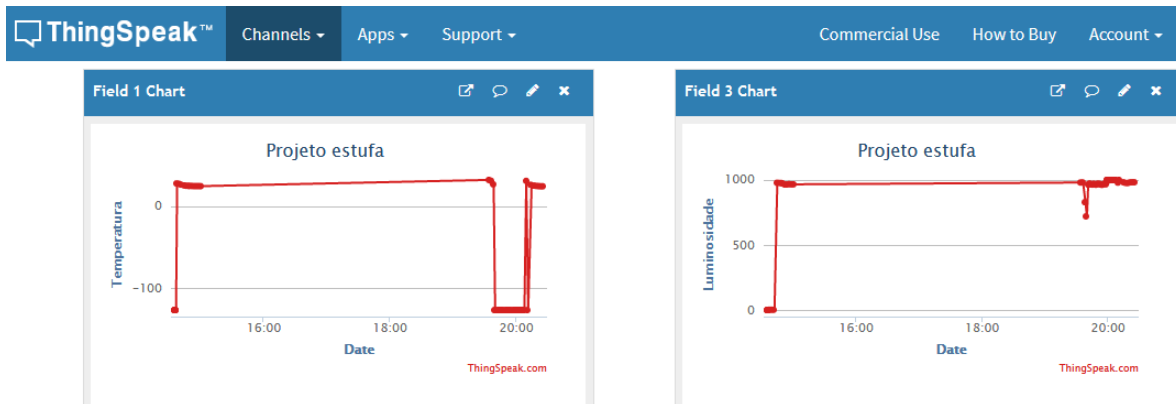
4.2 Teste de Humidade

Depois de ter feito a leitura do FC-28, o sensor foi colocado no solo da estufa já húmido, em que observou uma queda na curva da humidade, em que em seguida o sensor foi removido do solo húmido e colocado no solo já seco, a curva começou a subir novamente.

4.3 Teste de Luminosidade

O teste do sensor de luminosidade foi feito utilizando uma led. Foram feitos também testes, com o sensor totalmente coberto e também com uma lanterna diretamente apontada no sensor, para detetar as variações ocorridas.

Figura 34: Dados dos sensores no Thingspeak



Fonte: Elaboração própria

4.4 Análise dos resultados

Com os testes realizados, foi possível constatar o bom funcionamento do sistema proposto. Nos testes de temperatura e humidade, simulou condições naturais do mundo real, onde teve aumentos e declínios e temperatura ou humidade ocorrem de maneira satisfatória.

Os dados do sensor de luminosidade que foram enviados para a plataforma *thingspeak*, apresentaram de forma satisfatória, pois este conseguiu reconhecer de maneira confiante a presença ou ausência de luz no ambiente, possibilitando assim a utilização de uma luz artificial para suprir esta deficiência, quando necessário.

Quanto a plataforma *thingspeak*, provou a confiabilidade, em que a chave é conhecida apenas pelo usuário, caso este estiver errado os dados não serão enviadas para a plataforma. Os dados enviados serão necessariamente os dados que espera-se serem enviados.

CAPITULO V: VIABILIDADE ECONÓMICA

5.1 Custo do Sistema Controlo

A Tabela seguinte apresenta uma estimativa de custo do projeto, baseado nos componentes listados e seus preços no ano de 2019. Os componentes foram adquiridos através da internet na página da *Aliexpress*, foram escolhidos levando em consideração o requisito do baixo custo.

Tabela 1: Custo dos componentes adquiridos

Produto	Quantidade	Preço Unitário (CVE)	Loja	Total (CVE)
Sensor de humidade	2 Unidades	358,62	AliExpress	717,24
Sensor de temperatura	2 Unidades	200,24	AliExpress	400,48
LDR	1 Unidade	145,00	AliExpress	145,00
Kit de Arduino UNO	1 Unidade	2 421,63	AliExpress	2 421,63
Módulo rele no estado solido	2 Unidades	326,74	AliExpress	653,48
Módulo GSM SIM800L	1 Unidade	495,09	AliExpress	495,09
Módulo Ethernet Shield W5100	1 Unidade	472,18	AliExpress	472,18
Custo total (CVE)				5 305,1 CVE

Fonte: Elaboração própria

5.2 Custo Total do Sistema

Para realizar os cálculos de amortização primeiro dispôs-se todo o investimento inicial como custos de operação na tabela 2, a fim de facilitar o seu entendimento.

Tabela 2: Custo Total do Sistema

Designação	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Módulos 300W	33	25 300\$00	834 900\$00
Inversor 8.2 KW	1	215 050\$00	215 050\$00
Sistema de Automação	1	5 305\$00	5 305\$00
Estrutura PV	11	43 000\$00	473 000\$00
Manutenção	Mensal (20 anos)	3 500\$00	840 000\$00
Sistema Protetivo e cabos	5%	17 000\$00	17 000\$00
Outros	--	10 000\$00	10 000\$00
Total			2 395 255\$00

Fonte: Elaboração própria

Assim observa-se que o custo total do sistema está a volta das 2 395 255\$00 já incluídas todas as manutenções durante o seu período de vida útil. E tendo em conta que o consumo do local de estudo ronda os 8 KW e que tem correspondido a uma média de 65 000\$00 mensais de eletricidade, obtém-se o tempo de amortecimento da seguinte forma.

Amortização = Total Investido / Custos mensais

Amortização = 2 395 255\$00 / 65 000\$00

Amortização = 37 meses = 3 anos

Como demonstrado a amortização ronda então os três anos, começando a se lucrar com o sistema a partir daí, e com mais 15 anos de produção irá gerar cerca de 11 700 000\$00 durante todo o seu tempo de vida útil.

CAPITULO VI: IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONOMICOS

Impactos Ambientais

- Economia na irrigação ou seja uso racional dos recursos hídricos;
- É Sustentável;
- Cria um microambiente propício para o bom desenvolvimento e qualidade do produto;
- Aumento do oxigénio e diminuição de alguns gases de efeito de estufa;
- Quanto mais é a plantação há uma diminuição do efeito do calor;
- Permite o cultivo fora da época.

Impactos Socioeconómicos

- Várias pessoas podem aderir visto que é prático, com baixo custo de implementação;
- Orientação do plano de educação para capacitação profissional em tecnologias agrícolas;
- Com o uso de estufas poderá se cultivar hortaliças durante épocas consideradas menos propícias desde que haja controlo do ambiente.

CAPITULO VII: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio desse projeto foi possível realizar a implementação da automação de uma estufa agrícola, é uma ideia importante de ser posta em prática, e que resulta em economia de recursos, tanto ambientais quanto humano.

A plataforma Arduíno pode ser adaptável a várias tecnologias, como o *Shield Ethernet* utilizado no trabalho, que estabelece uma conexão com a Internet, permitindo assim que informações possam ser transmitidas para a plataforma *ThingSpeak*.

Houve algumas dificuldades que foram ultrapassadas gradualmente com a ajuda de pesquisas bibliográficas e com conhecimento e experiencia de algumas pessoas sobre automação e informática.

Automação é uma área bastante interessante e motivadora, visto que também é uma área desconhecida por muitos, por exigir um pouco de conhecimentos mais aprofundados.

O propósito do projeto da estufa automatizada, além de ser de baixo custo, promove uma utilização racional dos recursos híbridos sendo um projeto sustentável, e também a emissão dos gases de efeito de estufa é mínima, logo tem uma contribuição positiva ao nível ambiental.

Há uma integração das energias renováveis, em que foi usado a energia solar fotovoltaica, para alimentar o projecto, sendo esta uma energia alternativa e limpa, que é usada como fonte de alimentação do projeto em que foi feito todo o estudo.

Cabo Verde pode contar com um avanço em estufas automatizadas, tem um potencial de utilização imensamente maior, é de baixo custo, viável e proporciona uma boa qualidade no cultivo.

7.1 Trabalhos Futuros e Recomendações

Sobre trabalhos futuros é de salientar que dentro desta área ainda a muito espaço de progressão principalmente na investigação, sugere-se uma pesquisa literária mas profundo na automação das estufas.

Neste projecto foi utilizado alguns componentes para conceder o projecto, componentes estes de baixo custo, recomende-se na aquisição e instalação dos mais componentes de preferência profissionais de boa qualidade.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alves, V. (2008). *Dimensionamento de sistemas de produção de electricidade baseados em energia solar fotovoltaica*. Relatório de Projecto realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Baú da Eletrônica, (2017). Ethernet Shield W5100 para Arduino. Disponível em: www.baudaeletronica.com.br. Acessado em 02 Novembro 2019

Bittencourt, F. (2011). *Estudo comparativo do Aproveitamento da energia solar Fotovoltaica em relação à rede de Distribuição na eletrificação rural Do estado de tocantins*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

Capelli, B. (2014). *Desenvolvimento de uma estufa controlada e monitorada remotamente*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Course Hero, (2019). V r s i i d i s r p z i p célula fot t ipos de c. Disponível em: www.coursehero.com. Acessado em 27 de Novembro 2019

Côrtes, A. (2017). *Controle e Supervisão da Umidade em Estufa de Plantas Baseado em Arduíno*. Trabalho de conclusão do curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Curto-circuito, (2016). Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br>. Acessado em: 23 de Outubro de 2019, 12:05h.

Duffie, J. A. e Beckman, W. A. *Solar engineering of thermal processes*. 3. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

Fernandes, D. G., Preuss, E e Silva, T. L. (2017). *Sistema Automatizado de Controlo de Estufas para Cultivo de Hortaliças*. Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FlipFlop, (2013). Disponível em: <https://www.filipeflop.com>. Acessado em: 23 de Outubro de 2019.

Freitas, S (2008). *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos*. Relatório de projecto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial ramo Engenharia Electrotécnica, IPB, Bragança.

Guedes, B e Sousa, G. (2016). *Estufa agrícola automatizada utilizando micro controlador Arduino e comunicação serial*. Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais.

Glória, L. P., Naka, R. D., Beloni, G., Bertelli, G. (2015). *Estufa Climatizada*. Centro Paulo Sousa. São Caetano Do Sul.

Madalosso, E. (2014). *Sistema automatizado para irrigação de estufas*. Trabalho de fim de curso, Universidade Tecnológica Federal de Paraná, Paraná.

Medeiros, P. (2018). *Sistema de irrigação automatizado para plantas caseiras*. Monografia apresentada ao curso Engenharia de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Neves, D. J. R., Silva, V. P. R., Almeida, R. S. R., Sousa, F. A. S. e Silvas, B. B. (2015). *Aspectos gerais do clima do arquipélago de Cabo Verde*. Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais V.13 N.1 Jan./Abr. 2017.

VAZ, J. (2017). *Dimensionamento de um sistema fotovoltaico*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Vida de Silício, [S.D]. Módulo GSM GPRS SIM800L + Antena. Disponível em **www.vidadesilicio.com.br**. Acessado em: 02 Novembro 2019

TORRES, R (2012). *Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia eléctrica em edificações residenciais*. Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

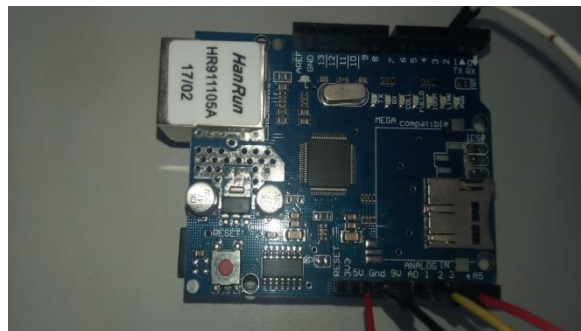
ANEXOS

Anexo 1: Acessórios Diversos Utilizados no Protótipo

Relé no Estado Solido



Módulo Ethernet Shield W5100



Sensor de Temperatura DS18B20



Sensor de Luminosidade LDR



Sensor de humidade do solo FC-28



Plataforma Arduino



Anexo 2: Visitas de campo



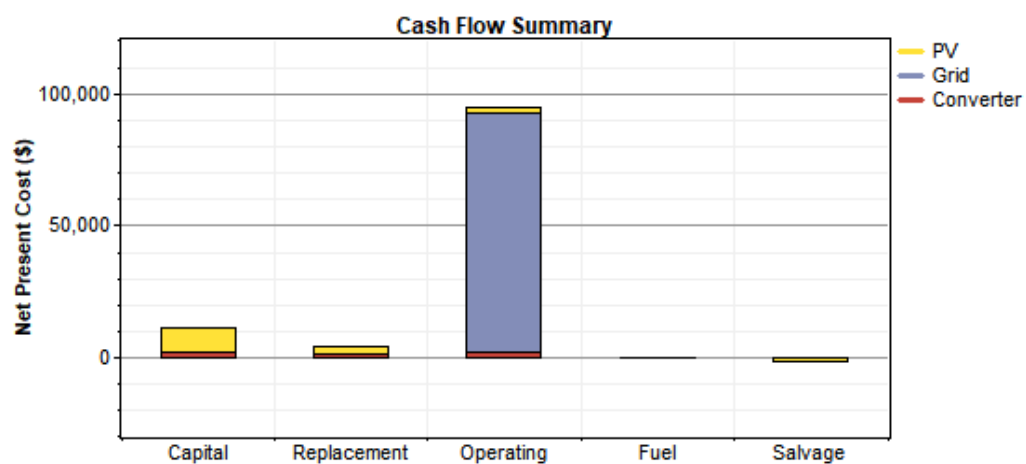
Anexo 3: Relatório de simulação FV no HOMER

System architecture

PV Array	10 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	8 kW
Rectifier	8 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 107,563
Levelized cost of energy	\$ 0.256/kWh
Operating cost	\$ 7,554/yr

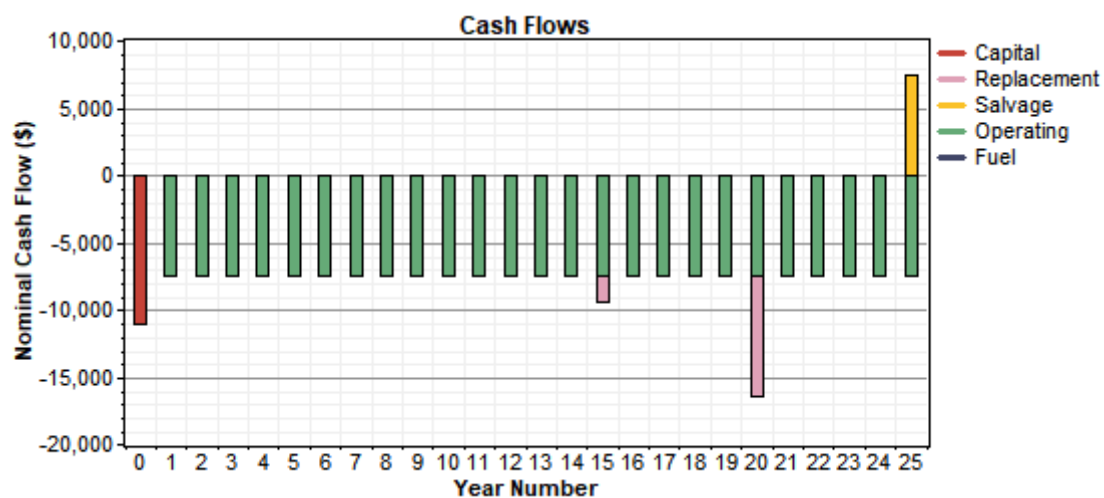


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	9,000	2,806	2,557	0	-1,573	12,790
Grid	0	0	90,048	0	0	90,048
Converter	2,000	835	2,045	0	-155	4,725
System	11,000	3,641	94,650	0	-1,728	107,563

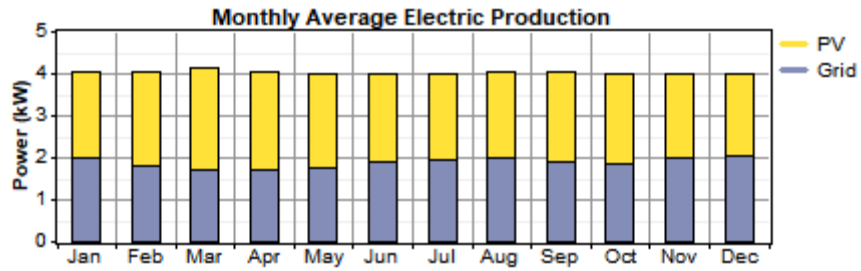
Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	704	220	200	0	-123	1,001
Grid	0	0	7,044	0	0	7,044
Converter	156	65	160	0	-12	370
System	860	285	7,404	0	-135	8,414



Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	18,746	53%
Grid purchases	16,557	47%
Total	35,303	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	32,266	97%
Deferrable load	547	2%
Grid sales	585	2%
Total	33,398	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	33.4	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.531	

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	10.0	kW
Mean output	2.14	kW
Mean output	51.4	kWh/d
Capacity factor	21.4	%
Total production	18,746	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	9.89	kW
PV penetration	58.1	%
Hours of operation	4,387	hr/yr
Levelized cost	0.0534	\$/kWh

Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	8.00	8.00	kW
Mean output	1.92	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	8.00	0.00	kW
Capacity factor	24.0	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,387	0	hrs/yr
Energy in	18,713	0	kWh/yr
Energy out	16,842	0	kWh/yr
Losses	1,871	0	kWh/yr

Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	1,477	60	1,417	8	626	0
Feb	1,216	73	1,143	8	509	0
Mar	1,291	87	1,205	8	538	0
Apr	1,237	62	1,175	8	521	0
May	1,303	44	1,259	8	555	0
Jun	1,383	29	1,354	8	594	0
Jul	1,453	29	1,424	8	624	0
Aug	1,474	51	1,423	8	627	0
Sep	1,374	57	1,316	8	582	0
Oct	1,396	29	1,367	8	599	0
Nov	1,435	34	1,401	9	615	0
Dec	1,517	29	1,489	9	652	0
Annual	16,557	585	15,972	9	7,044	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	10,094
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	43.8
Nitrogen oxides	21.4

Anexo 3: Código do Sistema

```
#include <SPI.h> //Biblioteca do Shield Ethernet1
```

```
#include <Ethernet.h> //Biblioteca do Shield Ethernet2
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
OneWire pino(3);
```

```
DallasTemperature barramento(&pino);
```

```
DeviceAddress sensor;
```

```
#define pino_sinal_analogico A0
```

```
int Hum_Solo;
```

```
//Sensor de Luminosidade
```

```
int ldrPin = A2; //Pino do sensor
```

```
int sensorLuz; //Variável para armazenar o valor analógico
```

```
float luminosidade; //Variável para armazenar o valor da tensão após a conversão do  
valor analógico
```

```
//Fim do Sensor de Luminosidade
```

```

//Relay
#define vent A3 //Ventilador ligado no pino A3
#define lamp A0 //Lâmpada ligada no pino A0
#define irri 2 //Sistema de Irrigação no pino D2
//Fim Relay

//Início Ethernet
byte mac[] = { 0xDE, 0xAE, 0xBC, 0xED, 0xFE, 0x02 };
int sdcard = 4;

//Configurações ThingSpeak
char thingSpeakAddress[] = "api.thingspeak.com";
String writeAPIKey = "K2FW2RDTEN7NO9JN";
const int updateThingSpeakInterval = 16 * 1000; // Intervalo de tempo para update
no ThingSpeak (Segundos * 1000 = interval)
//Setup de Variáveis
long lastConnectionTime = 0;
long lastCheck = 0;
boolean lastConnected = false;
int failedCounter = 0;
EthernetClient client; // Iniciar Client Ethernet
//Fim Ethernet

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Inicializa a serial
  barramento.begin();
  barramento.getAddress(sensor, 0);
  pinMode(ldrPin, INPUT); //Define o tipo de pino do sensor de luminosidade
  pinMode(vent, OUTPUT);

```

```

pinMode(lamp, OUTPUT);
pinMode(irri, OUTPUT);

//inicioEthernet();
inicioIrrigacao();
//Desativa o SD Card no módulo Ethernet para não dar problema de rede
pinMode(sdcard, OUTPUT);
digitalWrite(sdcard, HIGH);
}

void loop() {
if (client.available()) {
char c = client.read();
Serial.print(c);
}
long now = millis();
if (now - lastCheck > updateThingSpeakInterval) { //Caso o (horário atual - o
horário da última checagem) < (intervalo configurado), a rotina é iniciada

//Sensor de Luminosidade
sensorLuz = analogRead(ldrPin);
luminosidade = map(sensorLuz, 0, 1023, 1000, 0);
char l_buffer[10]; // Buffer da Luminosidade
String luz = dtostrf(luminosidade, 0, 5, l_buffer); // String da Luminosidade
//Fim Sensor de Luminosidade

//Humidade do solo
Hum_Solo = analogRead(pino_sinal_analogico);
Hum_Solo = map(sensorLuz, 0, 1023, 1000, 0);

```

```

char h_buffer[10]; // Buffer da Luminosidade
String HumSolo = dtostrf(Hum_Solo, 0, 5, h_buffer);
//Fim Humidade do Solo

//temperatura do solo
barramento.requestTemperatures();
float temperatura = barramento.getTempC(sensor);
char t_buffer[10]; //
String temperature = dtostrf(temperatura, 0, 5,t_buffer);
//temperatura do Solop

}
// ThingSpeak
if (!client.connected() && lastConnected) {
  Serial.println("...desconectado");
  Serial.println();
  client.stop();
}

// Update do ThingSpeak
if (!client.connected() && (millis() - lastConnectionTime >
updateThingSpeakInterval))
{
  updateThingSpeak("field1="+temperature+"&field2="+HumSolo+"&field3="+luz);
  // Envio das 3 Strings para o ThingSpeak
}

// Checar se o Arduino precisa ser reiniciado (reinicia a Ethernet caso a conexão
falhe mais que 3x)
if (failedCounter > 3 ) {

```

```

    //inicioEthernet();
}
lastConnected = client.connected();
}
}

void updateThingSpeak(String tsData) { //Fazer update dos dados no ThingSpeak
if (client.connect(thingSpeakAddress, 80)) {
client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
client.print("Connection: close\n");
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + writeAPIKey + "\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(tsData.length());
client.print("\n\n");
client.print(tsData);
lastConnectionTime = millis();
if (client.connected()) {
Serial.println("Conectando ao ThingSpeak...");
Serial.println();
failedCounter = 0;
}
else {
failedCounter++;
Serial.println("A conexão ao ThingSpeak falhou (" + String(failedCounter, DEC) +
");");
Serial.println();
}
}
}

```

```

}
//Conectar o Arduino na rede e obter um IP usando o DHCP
void inicioEthernet() {
  client.stop();
  Serial.println("Conectando o Arduino a rede...");
  Serial.println();
  delay(1000);
  if (Ethernet.begin(mac) == 0) {
    Serial.println("DHCP falhou, reinicie o Arduino");
    Serial.println();
  }
  else {
    Serial.println("Conectado a rede usando DHCP");
    Serial.println();
  }
}

void inicioIrrigacao() { //Setup de irrigação
  int segundo = 0;
  int minuto = 0;
  int cont = 1;
  double irrigar = (minuto / cont); //Variável para definir momento de irrigação
  static unsigned long ult_tempo = 0;
  int tempo = millis(); //Função millis retorna a quantidade de milissegundos desde o
  início da execução do programa.
  if(tempo - ult_tempo >= 1000) {
    ult_tempo = tempo;
    segundo++;
  }
  if(segundo >= 60 ) {

```

```
segundo = 0;
minuto++;

}
if (irrigar = 1) {
digitalWrite(irri, HIGH);
cont++;
}
else {
digitalWrite(irri, LOW);
}
}
```

Anexo 5: Protótipo

